

波長変更干渉計を用いた三次元形状計測における面内方向振動の影響とその改善法

著者	遠藤 大, 安達 正明
著者別表示	Endou Masaru, Adachi Masaaki
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2015 Autumn
号	M67
ページ	775-776
発行年	2015
URL	http://doi.org/10.24517/00049991

doi: 10.11522/pscjspe.2015A.0_775



波長変更干渉計を用いた三次元形状計測における 面内方向振動の影響とその改善法

金沢大学大学院 機械科学専攻 ○遠藤大 安達正明

Influence of the in-plane vibration in the 3D-shape measurement technique
using wavelength-changed many speckle interferograms, and an improving approach

Kanazawa University, Division of Mechanical Science and Engineering, Masaru ENDO and Masaaki ADACHI

We are studying a 3D-shape measurement technique using wavelength-changed many speckle interferograms. In our technique, phase-shifts are extracted using twice normalizations of interference-light intensity changes, and a Least-squares algorithm is used to extract phase distribution in each wavelength. When the position of the measurement object is changing by the in-plane vibration, the above algorithm can not work. Large errors occurred on the measurement area are thought to come from position-dependent phase-shift amounts. Then, we divide the measurement area into many small areas and calculate shape in each area. Finally we succeeded in improving the influence of the in-plane vibration.

Keyword: 3D shape, speckle, phase extraction, wavelength change

1. 研究目的

カメラと同じ方向から光を出す三次元形状計測法として波長可変レーザを用いる手法を取り上げ¹⁾, 工場環境下で用いる場合を想定し, 振動による影響とその改善方法を研究してきた. そして振動が $10\mu\text{m}$ までの面外方向振動のみの場合については影響をほぼ無視できる手法が確立できた. 今回は面内方向振動について検討した.

基礎にするのは, ランダムな位相シフト下で取り込む多数枚のスペックルグラムから画面内の位相分布を最小二乗法²⁾で抽出する方法である. しかしスペックルグラムは反射してきた光の干渉によって生じるので, 面内方向振動によって測定物の位置が変化すると個々の画素内に入る光も大幅に変化する. 本研究ではこの三次元形状計測法における面内方向振動の振幅の影響とその改善方法を調べた.

II. 形状計測の原理

波長変更を用いた反射面までの距離計測では, 線形的波長走査時の光強度変化周波数を抽出する方法³⁾が知られる. しかし, 面内振動環境下では測定中に測定位置が移動し各画素での干渉位相も変化してしまうので, それらは使えない.

我々は図 1 に示す光学系を用いて, 面外方向振動を想定して PZT ミラーをランダムに動かし, 面内方向振動を XY-PZT ステージを用いて測定物を水平にランダム振動させ, 干渉位相が画像取込毎に 2π 以上も含んで変化する状況下で干渉画像を多数枚取込んだ. そして画像内の位相の異なる 2 画素での光強度変化に関して 2 回規格化法⁴⁾を用いて, 取込順のランダム位相シフト量を抽出し, この位相シフト量変化と光強度変化から, 最小二乗法²⁾で最初の 1 枚目の干渉像に対する画素毎の位相を求めた.

波長変更が可能なレーザを用いて波長を 7 段階変え, 各波長で位相を計算する. そして最も波長が短いものと他の 6 枚との等価波長別のマップを計算し, 最も長い等価波長のマップから, より短い等価波長のマップへとアンラップを繰り返して形状計算する. この方法で得た 500 円硬貨の三次元形状の計測結果を図 2 に示す.

III. 面内方向振動下での形状計測の実験

しかし, 工場等の作業環境下では多種多様な振動が存在すると思われる. ここでは特に面内方向の振動を想定し測定物を水平にランダム振動させながら, 三次元形状計測を試みた. 画像は 12bit で 512×512 画素 (一画素 $45 \times 45\mu\text{m}$), 7 種の波長毎に 36 枚の計 252 枚を 10 枚/秒で取込むことになった.

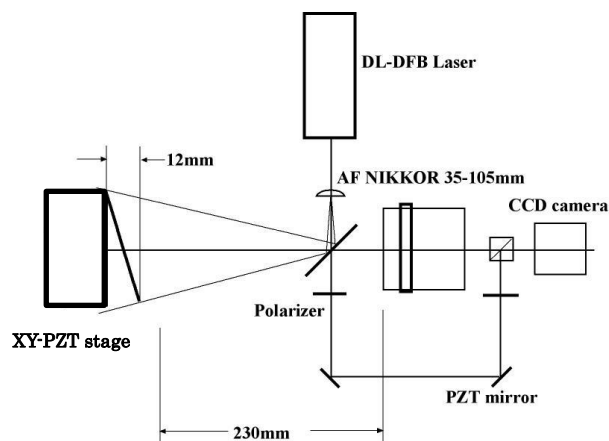


図 1 実際に用いたスペックル干渉計. 対物レンズは 1 眼レフ用ズームカメラレンズ, レーザは $778 \sim 780\text{nm}$ で波長可変, 測定対象はアルミ合金の粗面板. 面外方向振動は PZT ミラーを, 面内方向振動は測定物に取り付けた XY-PZT ステージをアナログ出力で振動させている.

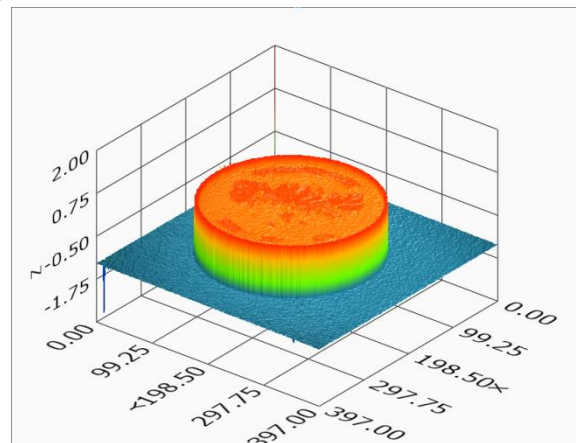
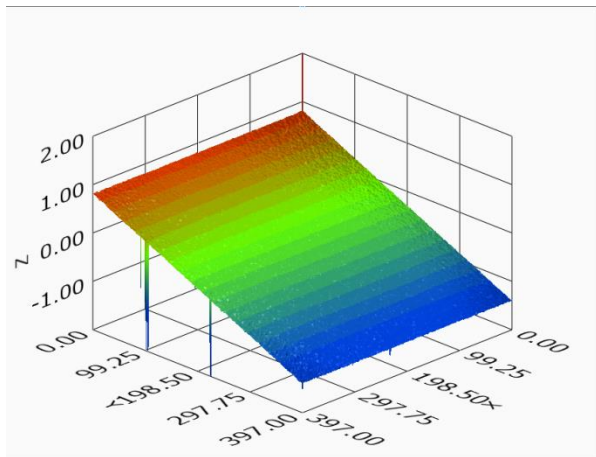


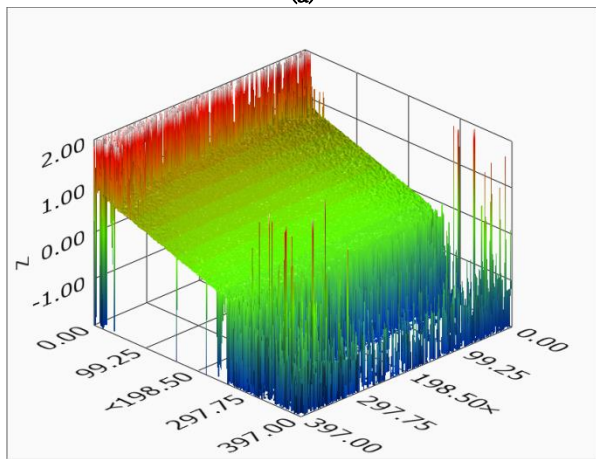
図 2 500 円硬貨の三次元形状測定結果. 7 つの波長での位相マップから 6 種の等価波長での位相マップを計算し, 6 種の位相マップの位相差変化から高さを計算した.

IV. 測定結果

アルミ合金板を傾斜させたものを面内方向振動無しで計測した三次元形状測定結果を図 3(a) に示す. 次に PZT を用いて斜面を図 3(a) の Y 軸方向にランダム振動 (最大振幅 $20\mu\text{m}$) させた状態で同様に計算した三次元形状測定結果を図 3(b) に示す. 図 3(b) では Y 軸方向に振動しているた



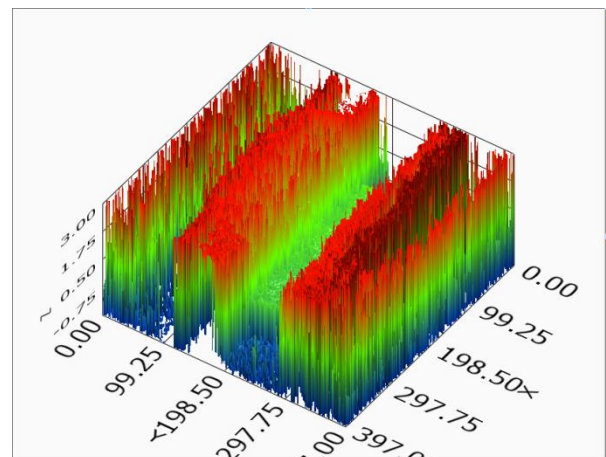
(a)



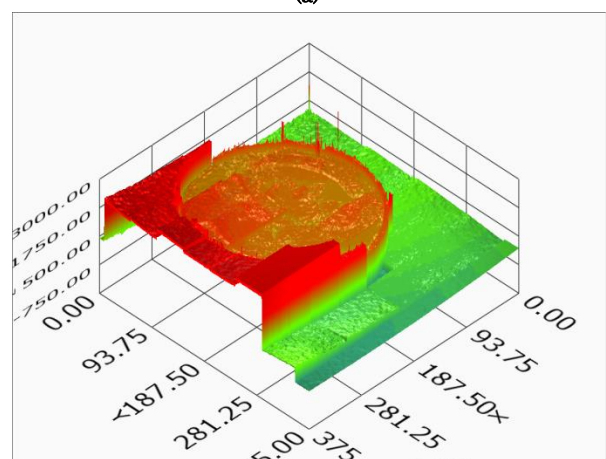
(b)

図3 面外方向振動のみの条件で計測した傾斜アルミ合金の三次元形状測定結果(a)と、面内方向振動と面内方向振動(Y軸方向, 最大振幅 $20\mu\text{m}$ のランダム振動)下において計測した傾斜アルミ合金の三次元形状測定結果(b). 振動によってY方向の両端にエラーが生じているのがわかる.

めY軸方向の端の方に大きな測定エラーが発生してしまい三次元形状が正確に測定できていない. また, 振幅を $30\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$...と大きくしていくとエラーが発生する領域が広がっていき, $50\mu\text{m}$ になると測定領域全体にエラーが発生する. しかし, 測定範囲を局所に絞るとこのエラーを軽減できることが分かった. そのため, 測定面を局所域に分けその中では位相シフトは一定として, 各波長で取込む1枚目の位相を計算し, 各々の局所域で計算した三次元形状をつなぎ合わせて統合し, 全体の三次元形状を求める処理を行った. この処理を用いてY軸方向のランダム振動(最大振幅 $50\mu\text{m}$)下において500円硬貨を計測した結果を図4に示す. 図4(a)は以前までの方法を用いて計算した三次元形状を示しており, 図4(b)は上述した処理を用いて計算した三次元形状を示している. 図4(a)の三次元形状には, 振動の最大振幅が $50\mu\text{m}$ であるので, 上述の通り測定範囲全体にY軸方向の端の方から非常に大きなエラーが発生している. 図4(b)の三次元形状にはある程度エラーが発生しているが, 何とか500円玉の凹凸を測定することができた. このように分割することにより面内方向振動の影響をある程度改善することができると考える. 局所域毎の計測はある程度精度が高いが統合の際には何故か接続部にエラーを含んでしまっている.



(a)



(b)

図4 面内方向振動(Y軸方向, 最大振幅 $50\mu\text{m}$)下で以前までの手法で計測した500円硬貨の三次元形状測定結果(a)と, 同様の条件下で画像を 8×8 の64枚に分割して計測したものをつなぎ合わせた500円硬貨の三次元形状測定結果(b). 各局所域同士の接続部にエラーが生じているが, 局所域内の形状はほぼ正確に計測できている.

V. 結論

カメラ方向からの三次元形状計測法に関して面内方向振動環境下での実験を行い, その影響を確認し改善方法を検討した. 面内方向振動として水平に最大 $50\mu\text{m}$ のランダム振動を与え, この状態で得られる干渉像をこれまでに開発してきた方法を改造して適用し, 各局所域で形状計算したものをつなぎ合わせる方法にたどり着いた. これにより, 面内方向振動によって生じるエラーを少なからず改善することができた. 今後は, つなぎ合わせる際の接続の精度を向上させるために+プログラムの改良を行ってきたい.

参考文献

- 1)安達, 佐々木, 振動環境下での波長走査を用いた電子基板の3次元形状測定法, 2014年度精密工学会春季大会講演論文集 111 (2014)
- 2)G.Lai, T.Yatagai, Generalized phase-shifting interferometry, J.Opt. SOC. Am.A, 8,822(1991)
- 3)S.Kuwamura, I.Yamaguchi, Wavelength scanning profilometry for real-time surface shape measurement, Appl.Opt., 36,4473 (1997)
- 4)M.Adachi, S.Sunada, Phase-shift extraction from twice-normalized light intensity changes recorded with random phase shifts, Optical Review,21,522(2014)